

## Ultrasonic power supply

Patent Number: US4973876  
Publication date: 1990-11-27  
Inventor(s): ROBERTS ALLAN J [US]  
Applicant(s): BRANSON ULTRASONICS CORP [US]  
Requested Patent: FR2652960  
Application Number: US19890409772 19890920  
Priority Number(s): US19890409772 19890920  
IPC Classification: H01L41/08  
EC Classification: H01L41/04B  
Equivalents: CA2014376, DE4025637, GB2236222, JP2936232B2, JP3118880

---

### Abstract

---

An ultrasonic power supply for driving a piezoelectric transducer at its parallel resonant frequency includes a clamped-mode resonant converter for converting direct current to alternating current and a demodulator, a loop filter and a voltage controlled oscillator in a phase locked loop configuration. The power supply also includes a control circuit for adjustably setting and controlling the amplitude of vibration of the transducer, and providing during start-up a ramp start. The power supply, further, includes a control circuit for limiting the maximum permissible current flow to the transducer and the reverse current flow from the transducer resulting from stored mechanical energy. Both control circuits provide feedback signals which control the pulse width modulated operation of the clamped-mode resonant converter and thereby control the voltage amplitude of the alternating current output from the converter. The phase locked loop circuit causes the frequency of the alternating current output from the converter to track the parallel resonant frequency of the transducer.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 20.09.90.

30 Priorité : 20.09.89 US 409772.

43 Date de la mise à disposition du public de la  
demande : 12.04.91 Bulletin 91/15.

56 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche : *Le rapport de recherche n'a pas été  
établi à la date de publication de la demande.*

60 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

71 Demandeur(s) : EMERSON ELECTRIC Co. — US.

72 Inventeur(s) : Roberts Allan J.

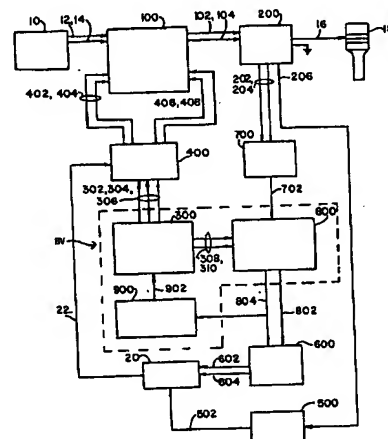
73 Titulaire(s) :

74 Mandataire : Cabinet Bruder Michel Conseil en  
Brevets.

54 Circuit d'alimentation électrique pour un transducteur piezo-électrique.

57 La présente invention concerne une alimentation pour  
transducteur piézo-électrique.

Cette alimentation est caractérisée en ce qu'elle com-  
porte une alimentation en courant continu (10), un conver-  
tisseur (100) pour fournir un courant alternatif en sortie,  
pour faire fonctionner un transducteur piézo-électrique (18)  
à sa fréquence de résonance propre, un réseau de sortie  
(200), un filtre de courant (700), un démodulateur (800), un  
filtre de boucle (900), un oscillateur (300) commandé en  
fonction de la tension et un circuit modulateur et d'attaque  
(400).



FR 2 652 960 - A1



La présente invention concerne une alimentation électronique destinée à l'excitation d'un transducteur électro-acoustique, à sa fréquence ultrasonore de résonance, spécifiquement à une fréquence prédéterminée dans un domaine 5 compris entre 18kHz et 60kHz.

De façon plus spécifique la présente invention concerne une alimentation destinée à l'excitation d'un transducteur piézo-électrique comportant une corne ou sonotrode, à sa fréquence de résonance propre, une telle 10 combinaison d'un transducteur et de sa sonotrode étant utilisée, le plus fréquemment, pour réaliser le soudage d'éléments thermoplastiques requérant une puissance de quelques centaines à quelques milliers de watts, pendant des durées de l'ordre de quelques millisecondes à quelques 15 secondes. Une telle alimentation typique de l'art antérieur est décrite dans le brevet US-A-3 432 691 du 11 Mars 1969 sous le titre "circuit oscillant pour convertisseur électro-acoustique". L'alimentation décrite ci-après comprend des améliorations et des aménagements nouveaux par rapport aux 20 alimentations de l'art antérieur, de tels aménagements étant rendus nécessaires par les impératifs des appareils de soudage par ultrasons commandables par des ordinateurs à grande vitesse et sous des conditions de grande précision et de répétabilité, mettant en oeuvre des pièces de travail et 25 des rythmes de production différents.

La présente invention décrit une alimentation destinée à exciter un transducteur piézo-électrique comportant une sonotrode, à sa fréquence de résonance propre, ou parallèle typiquement 20kHz, dans laquelle l'amplitude des 30 vibrations mécaniques produites sur la surface externe de la

sonotrode peut être ajustée et maintenue constante à ladite valeur ajustée, dans laquelle la séquence de départ, qui amène le transducteur et sa sonotrode de sa position d'attente à son amplitude de vibration totale, est réalisée d'une manière rapide et sans palier, dans laquelle la fréquence de résonance de la combinaison du transducteur et de son électrode est suivie et utilisée comme signal de commande pour ajuster la fréquence de l'alimentation, dans laquelle l'intensité du courant allant vers le transducteur et en provenant est limitée à des valeurs prédéterminées, et qui, enfin, comprend des moyens lui permettant de s'accommoder de vitesses de fonctionnement (cycles de soudage) supérieures à celles qui étaient possibles dans les dispositifs de l'art antérieur.

15 La description suivante fournira une vue globale des nouveaux aménagements indiqués précédemment.

Les transducteurs ultrasonores destinés normalement à des applications de puissance, fonctionnent dans leur mode de résonance propre. En utilisant une inductance de compensation, l'alimentation agit comme une source de tension. Avec un réglage approprié l'amplitude des vibrations mécaniques produites sur la surface externe du transducteur est alors proportionnelle à la tension d'attaque (tension dynamique) et la valeur du courant est proportionnelle à la puissance demandée par la pièce de travail. De cette manière l'amplitude des vibrations peut être réglée ou ajustée plus facilement malgré les grandes variations de puissance demandées.

La plupart des alimentations connues utilisent un circuit en deux parties pour réaliser l'ajustement de

l'amplitude de la vibration. (En dehors de l'utilisation de sonotrodes à amplification mécanique, ou de sonotrodes à gain mécanique différent couplées à l'ensemble transducteur pour l'ajustement de l'amplitude.) Le composant majeur de l'alimentation est un circuit convertisseur, utilisant des dispositifs de commutation électriques pour transformer la tension continue en une tension alternative, dont la fréquence est déterminée par la résonance mécanique du transducteur ultrasonore. L'amplitude de la tension alternative est commandée par la valeur de la tension continue fournie au dispositif de commutation et, en conséquence, l'amplitude de la vibration est fonction de l'amplitude de la tension continue. Pour modifier l'amplitude de vibration la valeur de la tension continue doit être modifiée. La tension continue est obtenue par redressement et filtrage de la tension alternative du courant du réseau. Pour rendre variable la tension du courant alternatif, on utilise soit un auto-transformateur variable soit un régulateur à commutation. Cette technique est inefficace et coûteuse du fait que la puissance est traitée deux fois, et habituellement la réponse à une modification de réglage de l'amplitude est lente.

Par opposition, l'alimentation décrite ci-après utilise une source d'alimentation à courant continu, fournissant une tension d'amplitude constante, et un convertisseur, fonctionnant dans un mode de modulation par impulsions de largeur variable pour fournir une tension alternative de fréquence appropriée pour exciter le transducteur. La tension alternative du réseau est redressée, filtrée, et maintenue à une valeur déterminée. Le

convertisseur produit ensuite la tension à la fréquence de fonctionnement. La tension de fonctionnement est commandée électroniquement en utilisant les mêmes dispositifs de commutation du convertisseur. Il en résulte un circuit de  
5 faible coût, de faible poids, et de réponse très rapide. Le circuit permet l'ajustement de l'amplitude de vibration, en cours du procédé de soudage, au lieu qu'elle soit fixée à une valeur prédéterminée.

En utilisant la modulation par impulsions de largeur  
10 variable dans le convertisseur de courant continu en courant alternatif, l'amplitude des vibrations du transducteur et de sa sonotrode peut être aisément commandée électroniquement. On utilise également un circuit de réaction dérivé de compensation à la sortie de l'alimentation. Ce circuit  
15 fournit un signal qui est proportionnel à la tension dynamique ou l'amplitude de mouvement, fournie à la surface externe du transducteur. Le signal est traité électroniquement et fourni en retour au circuit de modulation par impulsions de largeur variable. Cette technique permet de  
20 régler l'amplitude des vibrations, par rapport aux variations de tension du réseau et des variations de charge. Ainsi un signal de tension de commande peut être utilisé pour régler ou faire varier l'amplitude des vibrations du transducteur avec une influence faible ou même nulle de la tension du  
25 réseau ou des fluctuations de charge. La réponse rapide autorise une commande en cours de traitement de l'amplitude de vibration.

La technique de modulation par impulsions de largeur variable décrite précédemment, est également utilisée pour  
30 démarrer les vibrations du transducteur ultrasonore à partir

du repos. Une tension en forme de rampe est utilisée pour augmenter la tension dynamique de façon linéaire à partir de zéro jusqu'à une valeur régulée. Ceci représente une amélioration par rapport à la méthode de démarrage pas à pas  
5 utilisée précédemment, telle que décrite dans le brevet US-A-3 469 211. La commande est continue, linéaire, et auto-adaptable.

Différents ensembles transducteurs requièrent différentes durées pour atteindre une amplitude de vibration  
10 déterminée, en raison de l'inertie et de l'énergie mécanique stockée. Dans le présent ensemble, un circuit est utilisé pour contrôler le courant disponible que l'alimentation peut délivrer au cours du cycle de démarrage. Ce signal est également fourni, en réaction, au circuit de modulation par  
15 impulsions de largeur variable et est utilisé pour modifier le signal rampe. Avec cette technique l'alimentation ajuste automatiquement la puissance de sortie fournie au transducteur et amène le transducteur à l'amplitude de vibration déterminée dans un temps pratique le plus court.

20 La fréquence de fonctionnement propre (résonance) d'un transducteur ultrasonore varie quelque peu avec les conditions de fonctionnement. Parmi ces conditions on trouve l'usure mécanique de l'ensemble de la sonotrode, la température et la charge mécanique. Il y a également les  
25 variantes inhérentes existant entre des ensembles transducteurs individuels. Dans la présente invention un circuit à boucle à verrouillage de phase est utilisé pour mesurer la relation entre la phase du courant et la phase de la tension à la fréquence fondamentale dans le circuit de  
30 puissance, et la fréquence de fonctionnement est ajustée en

fonction de la fréquence de résonance du transducteur, à laquelle fréquence le déphasage est égal à zéro. Cette disposition fournit un maximum de puissance transférée et une efficacité de fonctionnement avec une quantité minimale de 5 contraintes exercées sur les composants de commutation. Ce circuit est actif durant le cycle entier de soudage, à la fois au cours du démarrage et également durant l'intervalle de transfert de puissance.

Nombre d'alimentations de l'art antérieur  
10 fonctionnent sur la base du "temps pulsé". Le circuit de puissance et le transducteur sont initialement au repos. Une commande de soudage démarre l'alimentation, amenant celle-ci à fournir la puissance au transducteur et à une pièce de travail mise en contact avec celui-ci, pendant une durée 15 donnée, puis l'alimentation et le transducteur retournent à l'état de repos. La cadence à laquelle une telle séquence peut être réalisée est limitée par plusieurs facteurs, l'un de ceux-ci étant la puissance dissipée par le système, et un autre étant le temps de réaction des circuits et de 20 l'ensemble transducteur. Les alimentations couramment disponibles sont limitées à environ 100 opérations par minute. La puissance dissipée dans la séquence de démarrage devient un facteur de limitation ainsi que le temps de réponse du circuit de commande.

25 En utilisant un démarrage à rampe et une commande à mode de commutation de l'alimentation, la dissipation de puissance est maintenue à un minimum. Le circuit de commande précédemment mentionné est conçu pour fonctionner à une cadence plus rapide, et le convertisseur de courant continu 30 en courant alternatif, utilisant la modulation par impulsions



de largeur variable, fournit une bien meilleure commande des puissances directe et inverse au transducteur, la puissance inverse étant la puissance produite par le transducteur provenant de l'énergie mécanique stockée résultante lorsque  
5 la puissance fournie au transducteur est rapidement diminuée.

Il en résulte une alimentation, suivant les améliorations mentionnées précédemment, qui peut fonctionner à 200 cycles par minute ce qui constitue une amélioration importante nécessitée par les chaînes de fabrication à grande vitesse,  
10 commandées par un ordinateur.

On décrira ci-après à titre d'exemple non limitatif, une forme d'exécution de la présente invention, en référence au dessin annexé sur lequel :

La figure 1 est un schéma synoptique de  
15 l'alimentation suivant l'invention.

La figure 2 est un schéma du circuit électrique du convertisseur courant continu/courant alternatif.

La figure 3 est un schéma du circuit électrique simplifié du réseau de sortie.

20 La figure 4 est un schéma du circuit électrique du filtre de courant.

la figure 5 est un schéma du circuit électrique du démodulateur.

La figure 6 est un schéma du circuit électrique du  
25 filtre de boucle.

La figure 7 est un schéma du circuit électrique de l'oscillateur commandé par une tension.

La figure 8 est un schéma du circuit électrique du circuit de commande de la tension.

30 La figure 9 est un schéma du circuit électrique du

circuit de commande du courant.

La figure 10 est un schéma du circuit électrique du combineur.

La figure 11 est un schéma de circuit électrique du 5 circuit modulateur et d'attaque.

Sur les figures, et en particulier sur la figure 1, un schéma synoptique simplifié est représenté de façon générale, montrant l'architecture de la nouvelle alimentation perfectionnée. Une alimentation en courant continu 10, 10 utilisant des moyens conventionnels, fournit une alimentation à courant continu redressé et filtré par des conducteurs 12 et 14 à un convertisseur de courant continu en courant alternatif 100. Le convertisseur 100 comprend des commutateurs à semi-conducteur pour convertir la tension 15 continue, fournie par l'alimentation 10, en une fréquence ultrasonore, typiquement 20kHz, fréquence habituelle utilisée pour faire fonctionner les appareils de soudage à ultrasons à haute puissance. Les dispositifs de commutation du convertisseur 100 sont commandés sur un mode de commutation 20 (non linéaire) pour fournir à la fois la production de la fréquence (20kHz) et la commande de la tension de sortie en utilisant une technique de modulation par impulsions de largeur variable.

Le réseau de sortie 200, reçoit, par des conducteurs 25 102 et 104, la tension de sortie, de fréquence ultrasonore, du convertisseur 100 et il fournit, par un conducteur 16, la tension et le courant d'excitation ou d'attaque d'un ensemble transducteur ultrasonore 18. Le réseau de sortie 200 transforme et adapte l'impédance de sortie du convertisseur à 30 l'impédance de l'ensemble transducteur. Le réseau de sortie

200 comprend des composants électriques formant, avec l'ensemble transducteur 18, un circuit résonant. Le réseau de sortie fournit également des signaux d'entrée à certains circuits de commande.

5 L'ensemble transducteur 18 comprend un empilement de disques piézo-électriques maintenus entre des masses métalliques, et une sonotrode couplée à ceux-ci, pour assurer la transmission des vibrations produites par les disques piézoélectriques qui est fonction de l'énergie électrique  
10 fournie, à une pièce de travail devant être soudée. L'ensemble transducteur est de construction conventionnelle, bien connue dans l'art antérieur.

Un oscillateur commandé en fonction de la tension 300 constitue le générateur de fréquence principal et de  
15 synchronisation pour la totalité de l'alimentation et ses circuits de commande. Il comprend un oscillateur commandé en fonction de la tension qui fonctionne à une fréquence harmonique de la fréquence ultrasonore fondamentale, 20kHz dans le mode de réalisation présent, et un diviseur de  
20 fréquence numérique pour produire des signaux de référence du système.

Un circuit modulateur et d'attaque 400 reçoit trois signaux d'entrée provenant de l'oscillateur 300 commandé en fonction de la tension, désignés par les références  
25 numériques 302, 304 et 306 et correspondant à deux fois la fréquence fondamentale ( $2f_p$ ), à deux fois la fréquence fondamentale avec un déphasage de  $180^\circ$  ( $\overline{2f_p}$ ), et à la fréquence fondamentale ( $f_p$ ). Le circuit modulateur et d'attaque comprend des circuits linéaires et numériques pour  
30 produire des signaux sur des conducteurs 402, 404, 406 et 408,

pour commander le fonctionnement du convertisseur 100 transformant le courant continu en courant alternatif. Un signal biphasé est produit par le modulateur qui fournit la modulation par impulsions de largeur variable au convertisseur 100. La fréquence de fonctionnement est liée au signal d'entrée provenant de l'oscillateur 300, commandé en fonction de la tension, et elle est commandée dans le temps par un signal d'entrée analogique provenant d'un circuit de commande de tension 500 et d'un circuit de commande de courant 600. Les signaux de sortie du modulateur sont amplifiés par des étages d'attaque, puis utilisés pour commander les dispositifs de commutation du convertisseur 100.

Un circuit filtre de courant 700 est un filtre électronique utilisé pour obtenir le signal de courant à fréquence fondamentale ( $f_p$ ). Un signal d'entrée, lié au courant de fonctionnement, est dérivé à partir du réseau de sortie 200, par des conducteurs 202 et 204. Le signal d'entrée contient la fréquence de courant fondamentale ( $f_p$ ) et ses harmoniques parasites. Le filtre est original en ce qu'il est un filtre passe-bande pour un domaine de fréquences se situant autour de la fréquence fondamentale, mais atténue les fréquences harmoniques. Au même moment le filtre est sensiblement transparent en phase pour la fréquence fondamentale, à l'intérieur du domaine passe-bande, c'est-à-dire qu'aucune distorsion de phase n'intervient pratiquement sur le signal traversant le filtre.

Un démodulateur de courant 800 est de type à commutateur analogique synchrone ou démodulateur en anneau. Le signal filtré provenant du filtre du courant 700 par un

conducteur 702 est échantillonné par des signaux de référence numérique provenant de l'oscillateur commandé en fonction de la tension 300 et de conducteurs 308,310. Les signaux de sortie résultants sont proportionnels aux parties réelles et  
5 imaginaires des signaux de courant initiaux. Ces signaux transfèrent l'information en ce qui concerne la valeur des composantes du courant et leur relation de phase par rapport à la tension d'attaque à la fréquence fondamentale. La partie réelle du signal est appliquée, en tant que signal d'entrée,  
10 par un conducteur 802, au circuit de commande du courant 600, alors que la partie imaginaire, ou réactive, du signal est appliquée par un conducteur 804, en tant que signal d'entrée, au circuit de commande du courant 600 et à un circuit filtre de boucle 900.

15 Le filtre de boucle 900 est un filtre de type passe-bas. Le signal de courant réactif provenant du conducteur 804 est fourni à l'entrée du filtre à boucle. Le signal de sortie du filtre, sur un conducteur 902, est utilisé comme tension de réaction ou de commande, liée à la phase, pour  
20 l'oscillateur commandé en fonction de la tension 300, pour ajuster sa fréquence. De cette manière une boucle à verrouillage de phase est créée, et cette boucle tend à conserver la tension et le courant en phase aux commutateurs du convertisseur de courant continu en courant alternatif  
25 100. Ceci est réalisé en recherchant la fréquence pour laquelle le courant réactif est minimal. Le transfert de puissance maximal est obtenu lorsqu'une contrainte minimale est appliquée aux dispositifs de commutation du convertisseur 100. Le filtre constitue une partie intégrante de la boucle à  
30 verrouillage en phase. Ses paramètres déterminent le taux

global de compensation de fréquence et commandent la stabilité de la boucle.

La combinaison des circuits, comprenant l'oscillateur commandé en fonction de la tension 300, le 5 démodulateur 800 et le filtre de boucle 900, qui forme ce qui est connu comme étant une boucle à verrouillage de phase BV, a été décrite très largement dans l'art antérieur, par exemple dans le brevet DE-A 2 726 249 ou le brevet US-A-4 642 581.

10 Le circuit de commande de tension 500 est utilisé pour réguler la tension dynamique globale fournie au transducteur 18. Un signal correspondant à la tension dynamique est produit dans le réseau de sortie 200. Ce signal de tension dynamique est appliqué au circuit de commande de 15 tension 500 par un conducteur 200, amplifié et comparé à une tension de commande. Le résultat de cette comparaison constitue un signal d'entrée fourni au circuit modulateur et d'attaque 400 au travers du circuit combineur 20, et de conducteurs 502 et 22. De cette manière l'angle de conduction 20 des dispositifs de commutation, dans le circuit convertisseur 100, est commandé pour maintenir une tension dynamique constante au convertisseur.

Au cours du cycle de démarrage une tension en forme de rampe est produite dans le circuit de commande de tension 25 500, de façon à augmenter l'amplitude de sortie du signal vers le circuit modulateur et d'attaque 400 à une vitesse linéaire commandée, allant de zéro jusqu'à une limite maximale fixée, par un réglage de commande de tension pour amener la tension continue provenant du convertisseur 100 à 30 augmenter également de zéro jusqu'à un maximum.

Le circuit de commande de courant 600 est utilisé pour réguler la quantité maximale de courant que l'alimentation fournit au cours du démarrage et des cycles de fonctionnement. A la fois les composantes réactive et 5 réelle du courant sont reçues en tant que signaux d'entrée provenant des conducteurs 802 et 804 et elles sont combinées de manière à protéger l'alimentation dans différents modes de fonctionnement. Le circuit comprend un jeu d'amplificateurs différentiels pour limiter respectivement le courant direct 10 et le courant inverse à des valeurs prédéterminées. Les signaux de sortie sur les conducteurs 602 et 604 sont également fournis comme signal de réaction au circuit modulateur et d'attaque 400, au travers du circuit combineur 20, pour commander l'angle de conduction des 15 dispositifs de commutation dans le convertisseur 100, et ainsi pour commander la tension dynamique fournie au transducteur. Au cours du cycle de démarrage le circuit peut modifier le signal de tension de rampe de démarrage en fonction des caractéristiques du transducteur.

20       Après avoir décrit les circuits de façon générale, on décrira à présent chacun de ces circuits de façon plus précise.

La figure 2 est un schéma du circuit du convertisseur de courant continu en courant alternatif. Il est constitué 25 essentiellement d'un pont redresseur pleine onde et de réseaux d'attaque des électrodes de commande pour commander le fonctionnement respectif des commutateurs du redresseur. Le circuit comprend quatre dispositifs de commutation à semi-conducteur 106, 108, 110 et 112, chacun d'eux comprenant un 30 dispositif de puissance du type MOSFET 114 pour la

commutation de puissance et une diode Schottky 116, en série avec la borne drain pour empêcher la diode du dispositif 114 de conduire le courant en direction inverse. Une diode à haute vitesse 118 est mise en série avec le dispositif MOSFET 5 114 et la diode 116 pour conduire le courant inverse apparaissant dans le dispositif de commutation.

Les dispositifs de commutation sont attaqués respectivement par des étages d'attaque 120,122 répondant aux signaux de sortie du circuit modulateur et d'attaque 400.

10 La sortie du courant alternatif résultant apparaît sur les conducteurs 102 et 104. Le circuit de commutation est essentiellement un modulateur dans lequel la tension de sortie est fonction de la modulation par impulsions de largeur variable. A tout moment deux commutateurs sont

15 conducteurs et deux commutateurs sont non conducteurs. Un circuit d'une telle configuration désigné comme étant un "Convertisseur résonant à mode fixé" est décrit en détail dans un article intitulé "Clamped-Mode Resonant Converters" de F.Tsai publié dans la revue IEEE "Transactions on Power

20 Electronics" volume 3, numéro 4, Octobre 1988, pages 460-473, figure 2, page 462.

Comme représenté, les commutateurs sont séparés en deux demi-circuits en pont, et chaque demi-circuit en pont se partage un réseau d'attaque d'électrode de commande commun

25 120,122. Chaque réseau d'attaque d'électrode de commande comprend des éléments pour isoler électriquement chaque commutateur et pour fournir une production à un niveau approprié et une synchronisation des formes d'ondes pour empêcher la conduction croisée au cours des transitions. Les

30 formes d'ondes sont produites par le circuit modulateur et



d'attaque 400.

Les avantages de ce circuit convertisseur résident dans le fait que les modifications d'amplitude de la tension de sortie peuvent être réalisées rapidement, sans déranger les relations de phase existant dans la boucle à verrouillage de phase qui est utilisée pour commander la fréquence de fonctionnement du circuit convertisseur et, en conséquence, la fréquence de sortie du courant alternatif. Egalement le circuit permet à la charge en résonance d'être excitée avec une efficacité beaucoup plus grande. De plus la puissance peut être commandée à la fois dans les deux directions, vers la charge et à partir de celle-ci. Enfin la gestion de l'énergie est bonne du fait que la puissance fournie au réseau de sortie et au transducteur, pendant une période de "marche", est continue.

La figure 3 est un schéma simplifié du circuit du réseau de sortie. Puisque les réseaux de sortie, également connus en tant que réseaux d'adaptation d'impédances, sont bien connus et ont été utilisés précédemment, le circuit sera seulement décrit brièvement. Le réseau 200 reçoit, par les conducteurs 102,104, le courant alternatif destiné à exciter le transducteur 18. Le transformateur de sortie 208 adapte les niveaux de tension et de courant entre le circuit convertisseur 100 et l'ensemble transducteur 18. Les composants en série avec l'enroulement primaire du transformateur sont choisis pour faire en sorte que le côté primaire, conjointement avec le côté secondaire auquel est connecté le transducteur 18, à entrer en résonance électrique à la fréquence de résonance propre du transducteur. Un transformateur de courant 210, couplé au côté primaire du

réseau, fournit, aux bornes d'une résistance 212, un signal proportionnel au courant allant vers le transducteur. Ce signal est à la fois linéaire et sensiblement en phase avec le courant du côté primaire, et ce signal, apparaissant en 5 tant que tension entre les conducteurs 202 et 204, est à son tour utilisé pour commander le courant fourni au transducteur 18 et pour ajuster la fréquence.

A partir de l'enroulement secondaire du transformateur 208 un signal de sortie est extrait, sur le 10 conducteur 206, lequel signal est en phase avec la tension dynamique excitant le transducteur 18, c'est-à-dire la tension proportionnelle à l'amplitude de vibration. Cette tension est fournie au circuit de commande de tension 500 et utilisée, à son tour, pour réguler l'amplitude de sortie 15 dynamique du transducteur 18.

La figure 4 est un schéma simplifié du filtre de courant 700. Le filtre est un filtre passe-bande électrique qui atténue les fréquences tombant à l'extérieur des bandes de fréquence, mais qui laisse passer les signaux à 20 l'intérieur de la bande de fréquence choisie. Un élément spécifique du filtre réside dans la caractéristique suivant laquelle, pour le domaine de fréquences à l'intérieur de la bande passante, le déphasage entre un signal d'entrée et le signal de sortie sera minimal, c'est-à-dire que le filtre est 25 transparent à la phase.

La tension de sortie pulsatoire du convertisseur de courant continu en courant alternatif est naturellement filtrée par le réseau de sortie 200 et le transducteur 18. Le signal de sortie contient différentes composantes de 30 fréquences, à savoir la fréquence fondamentale (20kHz) et les

harmoniques parasites de la fréquence fondamentale. Ceci donne lieu à l'apparition de signaux de courant similaires et correspondants. Le signal de courant à la fréquence fondamentale est d'un intérêt majeur. A la résonance, la tension et le courant à la fréquence fondamentale sont en phase l'un avec l'autre. En conséquence, le premier but du filtre est de laisser passer le signal de courant à la fréquence fondamentale et d'atténuer les signaux harmoniques.

Le signal de courant, proportionnel à l'intensité du courant circulant entre le réseau 200 et le transducteur 18, est fourni, par les conducteurs 200,204, au circuit filtre de courant 700. Le circuit (voir figure 4) est constitué de deux circuits résonants parallèles à accord décalé. La fréquence de fonctionnement et le facteur Q (facteur de qualité) de chaque circuit bouchon 704,706 sont choisis pour avoir des pentes de phases égales et opposées à l'intérieur de la bande de fréquence intéressante. Par exemple, pour une fréquence fondamentale de 20 kHz, le circuit bouchon 704 peut être accordé sur une fréquence de 19kHz, et le circuit 706 sur une fréquence de 21 kHz, fournissant un domaine de passage et une transparence de phase pour la fréquence fondamentale de 20kHz. Les signaux provenant des circuits bouchons sont alors additionnés dans un circuit additionneur 708 pour fournir un signal de sortie sur le conducteur 702 contenant seulement l'information concernant la fréquence fondamentale, les fréquences harmoniques au-dessus ou au-dessous de la bande choisie étant atténuées par les circuits bouchons résonants. Le signal sur le conducteur 702 représente ainsi un signal correspondant à l'amplitude et à la phase, à la fréquence fondamentale, du courant circulant

entre le convertisseur 100 et le transducteur 18.

La figure 5 est un schéma du circuit du démodulateur 800. Pour maintenir le transducteur 18 à son point de fonctionnement résonant, le courant et la tension de sortie 5 du convertisseur 100 doivent être en phase. Le signal de courant, filtré dans le circuit 700, est appliqué, par le conducteur 702, au démodulateur 800 pour obtenir à la fois l'information en amplitude et en phase du signal d'entrée.

Le démodulateur est constitué d'un jeu de 10 commutateurs analogiques de type synchrone. Le signal de sortie analogique 702 du filtre 700 est appliqué à la fois aux commutateurs analogiques 806 et 808, qui sont disponibles dans le commerce sous la forme de circuits intégrés. Le commutateur 806 reçoit également, par un conducteur 308, un 15 signal numérique  $f'_p$ , proportionnel à la fréquence de fonctionnement fondamentale, mais déphasé de  $90^\circ$ . De façon similaire le commutateur 808 reçoit, par un conducteur 310, un signal numérique  $f_p$  proportionnel à la fréquence de fonctionnement fondamentale, mais sans déphasage. En 20 conséquence le signal fourni par le conducteur 804 représente la partie imaginaire, ou réactive, du courant fourni au transducteur 18, alors que le signal fourni par le conducteur 802 est proportionnel à la partie réelle du courant. Lorsque les composantes du courant allant vers le transducteur 18 ne 25 comportent aucune partie imaginaire, le signal de sortie du conducteur 804 est à zéro. Si une partie imaginaire est présente, le signal de sortie du conducteur 804 est une valeur de tension positive ou négative.

La figure 6 est un schéma électrique du circuit du 30 filtre de boucle. Le filtre est essentiellement un filtre

5 passe-bas, et il est utilisé pour traiter la partie  
imaginaire du courant provenant du démodulateur 800. Le  
contenu de la fréquence harmonique est bloqué et une tension  
continue moyenne d'erreur est obtenue et envoyée, en tant  
10 que signal de correction, à l'entrée de l'oscillateur  
commandé en fonction de la tension, pour ajuster la fréquence  
de l'oscillateur. Le filtre est constitué d'un circuit  
intégrateur 904 qui reçoit le signal de sortie provenant du  
démodulateur par un conducteur 804, ainsi que décrit  
10 précédemment.

L'intégrateur 904 possède des constantes de temps  
commandées qui commandent la réponse globale de la boucle à  
verrouillage de phase et qui sont choisies en fonction de  
considérations de stabilité et de vitesse. Une phase et un  
15 courant décalés obligent le condensateur 906 du circuit  
intégrateur à se charger ou se décharger. La tension  
résultante amène la fréquence de l'oscillateur commandé en  
fonction de la tension à changer, de manière à provoquer une  
réduction du déphasage. La tension à la sortie de  
20 l'intégrateur, par le conducteur 902, se fixe et devient  
stable lorsque le déphasage approche de zéro (condition  
d'accord). Des modifications dans le déphasage provoquent une  
modification du signal de sortie qui est fourni à  
l'oscillateur, pour provoquer une correction de fréquence  
25 correspondante. En conséquence, la tension de sortie du  
filtre de boucle est un signal de tension représentatif de la  
relation de phase existant entre le courant et la tension  
appliqués au transducteur 18, et un tel signal de tension est  
une tension continue constante lorsqu'un déphasage  
30 sensiblement égal à zéro existe, c'est-à-dire que

l'oscillateur commandé en fonction de la tension fournit la fréquence appropriée pour le fonctionnement précis du transducteur à sa fréquence de résonance propre.

La figure 7 est un schéma électrique de l'oscillateur  
5 commandé en fonction de la tension. Un circuit spécifique est représenté, mais d'autres modes de mise en oeuvre pourraient être utilisés pour fournir la même fonction. L'oscillateur comprend un circuit/compteur de temps oscillateur 312, tel que celui commercialisé par la Société TEXAS INSTRUMENT et  
10 connu sous la référence 555, agencé pour fonctionner en oscillateur astable. Des composants 314, 316, 318 et 320 sont choisis pour permettre à l'oscillateur de fonctionner à une fréquence 4fp égale à quatre fois la fréquence de résonance propre du transducteur. La fréquence de fonctionnement de  
15 l'oscillateur 312 est également fonction de la valeur du signal de tension continue fourni à son entrée de commande par le conducteur 902, provenant du filtre de boucle. Des résistances 322, 324, 326 et 328 d'un réseau de décalage et de mise à l'échelle de la tension qui applique la tension de  
20 commande ou de réaction à la broche d'entrée du signal de commande de l'oscillateur 312. Lorsque la tension appliquée à la broche d'entrée de l'oscillateur 312 est rendue plus positive, la fréquence de celui-ci diminue et, inversement, lorsque cette tension est rendue plus négative, la fréquence  
25 augmente.

Une résistance variable 326 est utilisée pour régler la variation de fréquence que produit la commande de la tension. On fixe ainsi une limite de la bande des fréquences (largeur de bande) à l'intérieur de laquelle l'alimentation  
30 fonctionne. Une résistance variable 314 est utilisée pour

réglér la fréquence médiane.

La sortie de l'oscillateur 312, commandée en fonction de la tension, fonctionnant à une fréquence égale à quatre fois la fréquence fondamentale, est appliquée à une bascule/bistable 330 de type D connectée pour former un circuit diviseur par deux. Le signal de fréquence  $4f_p$  provenant de l'oscillateur est ainsi divisé par un facteur de deux pour produire deux signaux, à savoir un signal  $2f_p$  sur le conducteur 302 et son signal complémentaire, déphasé de  $180^\circ$ ,  $\overline{2f_p}$  sur le conducteur 304.

Deux bascules bistables additionnelles de type D 332 et 334 sont utilisées pour produire des signaux de référence. La bascule 332 est également connectée pour réaliser un circuit diviseur par deux, le signal  $2f_p$  étant appliqué à son entrée. Les sorties de cette bascule 332 sont d'une part le signal de fréquence fondamentale  $f_p$ , sur les conducteurs 306 et 310, et, d'autre part, le signal complémentaire  $\overline{f_p}$ . Ces derniers signaux sont déphasés de  $180$  degrés l'un par rapport à l'autre. Le signal  $\overline{2f_p}$  agit comme un signal d'horloge sur la bascule 334 et le signal  $\overline{f_p}$  agit comme entrée de données. Il en résulte que la bascule 334 produit un signal de sortie  $f'_p$  sur un conducteur 308, ce signal étant à la fréquence fondamentale, mais déphasé de  $90$  degrés. Les signaux sous forme numérique sur les conducteurs 308 et 310 sont appliqués au démodulateur 800, comme décrit précédemment, alors que les signaux des conducteurs 302, 304, et 306 sont appliqués au circuit modulateur et d'attaque 400.

Le circuit de commande de tension (amplitude) est représenté sur la figure 8. Un paramètre de première importance, dans une application d'un appareil ultrasonore de

ce type, est l'amplitude de la vibration mécanique du transducteur et de sa sonotrode. Comme décrit précédemment, un signal lié à l'amplitude dynamique sur le conducteur 206 (figure 3) est produit dans le réseau de sortie, lequel signal est proportionnel à la tension d'attaque appliquée au transducteur. Cette tension est connue également comme étant la "tension dynamique". La tension dynamique est mise à l'échelle et redressée. Elle est ensuite ajoutée à une tension de référence pour produire un signal d'erreur. Le signal d'erreur est amplifié et fourni au combineur et à l'entrée du circuit modulateur et d'attaque. Cette boucle de réaction a pour objet de maintenir une amplitude de mouvement déterminée. Puisque la tension dynamique est mesurée, la disposition du circuit est telle qu'elle doit maintenir une amplitude déterminée, malgré les variations de la tension du réseau et des effets de la charge transmis à l'alimentation.

Des moyens sont prévus pour faire varier la tension de référence, à la fois de façon interne ou externe à l'alimentation. De cette façon l'amplitude de vibration peut être réglée par un potentiomètre de commande, ou par un signal externe tel qu'un signal dérivé d'un processus. Le système possède un temps de réponse rapide de façon qu'une variation d'amplitude puisse être réalisée, même au cours d'un cycle de soudage particulier. Au cours de la période de démarrage, le signal de tension de référence est modifié par un générateur à fonction rampe. Il en résulte que la tension dynamique et l'amplitude de vibration résultante démarrent à partir d'une condition de repos et augmentent, à une vitesse déterminée linéaire, jusqu'à ce que le point prédéterminé de régulation soit atteint. On oblige ainsi le transducteur à



augmenter l'amplitude de ses vibrations d'une manière linéaire plutôt que pas-à-pas.

Le signal de tension dynamique, sur le conducteur 206, est redressé par un redresseur 504 et filtré par un condensateur 506. Le signal de courant continu résultant est envoyé à un amplificateur intégrateur 508. Dans l'amplificateur 508 le signal de courant continu, lié à la tension d'attaque appliquée au transducteur 18, est comparé avec une tension de référence prédéterminée. La valeur de la tension de référence peut être un signal à point de consigne provenant d'un potentiomètre 518 d'ajustement de l'amplitude ou un signal variable, tel qu'un signal "rampe" produit par un générateur de tension "rampe" 510, constitué d'un amplificateur 512 et d'un condensateur 514 en combinaison avec une source de tension et un commutateur 516 en série possédant une position "ARRET" et une position "MARCHE".

Si le signal lié à l'amplitude est inférieur à la tension de référence, le signal de sortie provenant de l'amplificateur 508 augmente le niveau du signal fourni au combineur 20 et au circuit modulateur et d'attaque 400 pour produire une augmentation de la tension de sortie fournie par le convertisseur. Si le signal lié à l'amplitude est supérieur à la tension de référence, la sortie de l'amplificateur 508 diminue et produit une diminution de la tension dynamique appliquée au transducteur.

Pour démarrer l'alimentation à partir du repos, le générateur de signal "rampe" 510 est utilisé pour modifier la tension de référence provenant du potentiomètre 518. Au repos le commutateur 516 est dans la position "ARRET" ainsi que représenté. Le générateur de signal "rampe" fixe la tension

de référence à une valeur égale à zéro. Lorsque le commutateur est déplacé dans la position "MARCHE", la sortie du générateur de signal "rampe" augmente lentement linéairement, et permet à la tension de référence de croître également. Ceci se produit jusqu'à ce que la diode de fixation 520 ne soit plus conductrice et, dans cette condition, l'alimentation se met dans une condition de régime permanent. On comprendra naturellement que le commutateur 516 peut être un commutateur électronique.

10 La figure 9 est un schéma du circuit de commande de courant 600. Les composants du circuit de commande de courant régulent et limitent les niveaux du courant de sortie normal produits par l'alimentation. Au cours d'une séquence normale de fonctionnement de l'alimentation il existe diverses  
15 conditions dans lesquelles les composants de ce circuit viennent en fonctionnement.

Pendant la période de fonctionnement, on peut demander à l'alimentation de délivrer davantage de puissance qu'elle ne peut, de façon sûre, produire. Le niveau du  
20 courant de fonctionnement est mesuré au réseau de sortie 200, traité par le filtre de courant 700 et par le circuit à composante réelle du courant du démodulateur 800. Le signal résultant est comparé, dans le circuit de commande de courant 600, avec un signal de référence définissant le courant  
25 maximal. Toute différence résultant ou tout signal d'erreur correspondant à un courant excessif est utilisé pour commander le circuit modulateur et d'attaque 400 après être passé au travers du combineur 20. L'action est de réduire l'amplitude de la tension alternative en sortie du  
30 convertisseur 100 et, en conséquence, de réduire et d'ajuster

le courant à sa valeur maximale prédéterminée. Cette commande est linéaire dans sa caractéristique.

Le transducteur 18, cependant, est un dispositif résonnant mécaniquement et il stocke de l'énergie. Le 5 dispositif est directionnel en ce sens qu'il peut à la fois utiliser et produire de l'énergie, c'est-à-dire du courant électrique. De façon à commander l'amplitude de vibration du transducteur à une vitesse rapide, l'alimentation doit être en mesure de recevoir et de produire un courant maximal. La 10 sortie provenant de la partie réelle du courant du démodulateur, sur le conducteur 802, change de polarité et de niveau en fonction de la quantité de courant et de sa direction allant vers le transducteur ou provenant de celui-ci. La sortie du circuit de commande de courant commande, au 15 travers du combineur 20, le circuit modulateur et d'attaque 400 pour diminuer ou augmenter la tension alternative effective en sortie du convertisseur 100, en fonction de la direction du courant allant vers le transducteur ou en provenant.

20 Au cours du cycle de démarrage, des composantes réactives du courant importantes peuvent être présentes dans le trajet du courant provenant du convertisseur et allant vers le transducteur. Dans ce cas un échantillonnage de la partie imaginaire, ou réactive, du signal provenant du 25 démodulateur, par le conducteur 804, est combiné avec la partie réelle du signal du courant. Il en résulte une mise en forme de la ligne de charge ou une modification du point de consigne du niveau de courant pour une meilleure protection des dispositifs de commutation contre une détérioration 30 provoquée par une commutation avec une énergie excessive,

pendant les périodes de transition de charge.

Egalement, au cours du démarrage, des sonotrodes mécaniques importantes peuvent requérir une énergie excessive pour atteindre une amplitude déterminée de vibration. Dans ce cas, si les demandes en courant sont trop importantes pour permettre au transducteur équipé de sa sonotrode d'atteindre son amplitude fixée pendant un intervalle de temps alloué, le circuit de commande de courant modifie le temps du cycle de démarrage en réduisant automatiquement le signal fourni au circuit modulateur et d'attaque 400. Cette caractéristique allonge le temps de démarrage et empêche l'alimentation d'atteindre un état de surcharge.

La partie réelle du signal de courant sur le conducteur 102, provenant du démodulateur 800, possède une valeur dépendant de la direction du courant. Sa polarité est positive si le courant se dirige vers le transducteur 18 et elle est négative si le courant provient du transducteur. Cette partie réelle du signal est envoyée à deux amplificateurs intégrateurs 605 et 606, alimentés par des signaux de référence respectifs. Un signal correspondant au maximum du courant autorisé dans le sens direct est produit par un potentiomètre 608, et le signal correspondant au courant maximum autorisé en sens inverse est produit par un potentiomètre 610.

Si le signal de courant direct effectif dépasse la valeur du signal de courant direct de référence, l'amplificateur 605 envoie un signal de tension de sortie vers le combineur 20 et vers le circuit modulateur et d'attaque, par le conducteur 602, de façon à diminuer la sortie de l'alimentation en réduisant la tension alternative

du convertisseur. Cette condition limite le taux d'augmentation du courant fourni au transducteur ou réduit le courant à un niveau de sécurité prédéterminé.

Si cependant le signal de courant inverse dépasse la  
5 valeur du signal de courant inverse de référence, l'amplificateur 606 envoie un signal de tension de sortie au modulateur, par le conducteur 604, pour provoquer une augmentation de l'intensité du courant provenant de l'alimentation, c'est-à-dire pour augmenter la tension  
10 alternative du convertisseur. Cette action limite le taux de diminution de l'intensité du courant provenant du transducteur, pour l'amener à un niveau de sécurité.

Une partie de la composante imaginaire, ou réactive, du courant provenant du démodulateur, par le conducteur 804,  
15 est ajoutée à la composante réelle du courant dans la jonction 612. Cette action de sommation se traduit par le fait que la quantité totale du courant direct de l'alimentation, au cours de la phase de démarrage, est commandée si un état d'accord incorrect se manifeste.

20 La figure 10 décrit le circuit combineur qui combine, à la jonction 24, le signal de sortie provenant du circuit de commande de tension 502, à savoir le signal de commande de tension, avec les signaux de sortie du circuit de commande de courant fournis par le conducteur 602 ou le  
25 conducteur 604 pour produire, au travers d'un amplificateur intermédiaire 26, un signal de commande combiné qui est appliqué, par le conducteur 22, au circuit modulateur et d'attaque 400. Ce signal de commande est utilisé comme signal de commande composite pour réguler la tension de sortie  
30 fournie par le convertisseur 100. Si le transducteur

fonctionne dans des niveaux d'intensité de courant prédéterminés, seul le signal de commande d'amplitude sur le conducteur 502 intervient effectivement en tant que sortie du combineur 22. Si le courant fourni au transducteur, ou 5 provenant de celui-ci, se trouve au-dessus du niveau souhaité, le signal de commande de tension est modifié par le signal lié au courant ainsi que décrit.

La figure 11 est un schéma du circuit modulateur et d'attaque 400 qui reçoit les signaux liés à la fréquence de 10 l'oscillateur commandé en fonction de la tension, et le signal de commande de tension combiné provenant du circuit de commande de tension ainsi que du circuit de commande de courant. En conséquence, le circuit modulateur et d'attaque 400 fonctionne, à partir d'un signal de commande de tension 15 et des signaux produits par l'oscillateur commandé en fonction de la tension, en fournissant des signaux de sortie pour commander, de façon appropriée, le fonctionnement du convertisseur 100 transformant le courant continu en courant alternatif.

20 Un signal d'horloge provenant du conducteur 302 (signal de fréquence double 2fp), provenant de l'oscillateur commandé en fonction de la tension 300, est envoyé sur un circuit amplificateur intégrateur 410 qui fournit un signal de sortie triangulaire à pentes égales. Ce signal, à son 25 tour, est appliqué à un circuit comparateur 412. Le circuit comparateur 412 reçoit également, par le conducteur 22, le signal composite de régime permanent provenant du combineur 22, représentant un signal de commande de tension. Le comparateur est utilisé pour comparer la tension de commande 30 avec le signal triangulaire. La sortie du comparateur 412 est

fournie à une porte NON ET 414 et à une porte ET 416. La porte NON ET 414 reçoit également le signal d'horloge 2fp, par le conducteur 302. La porte ET 416 reçoit, sur sa seconde entrée, un signal du conducteur 304 représentant le signal de 5 fréquence double de la partie imaginaire du courant  $\overline{2fp}$ . La sortie de la porte NON ET 414 et la sortie de la porte ET 416 sont appliquées à des entrées de deux bascules bistables respectives 418 et 420, chacune d'elles recevant également un signal fp du conducteur 306 représentant un signal d'horloge.

10 Les signaux de sortie des bascules 418 et 420 sont en relation de phase variable l'un avec l'autre, variant d'un minimum de 0 degré, ce qui correspond à une tension de sortie minimale provenant du convertisseur 100, à un maximum de 180 degrés, fournissant une tension de sortie maximale. Les 15 amplificateurs intermédiaires 422 forment des étages d'attaque. Les signaux de sortie déphasés respectivement de 180 degrés, sur les conducteurs 402 et 404 et les conducteurs 406 et 408 sont appliqués aux transformateurs 120 et 122 de l'étage d'attaque du circuit convertisseur (voir figure 2). 20 En conséquence le convertisseur 100 est amené à fournir, par modulation d'impulsions, une tension de sortie alternative commandée par réaction, contrôlée d'une manière précise en fréquence, en amplitude de tension dynamique et en intensité de courant maximale. En conséquence l'alimentation possède 25 toutes les conditions désirées mentionnées en début de description.

## REVENDICATIONS

1.- Alimentation pour transducteur piézo-électrique caractérisée en ce qu'elle comporte :

une alimentation en courant continu (10),

5 un convertisseur (100) résonnant en mode fixé, couplé pour recevoir un courant continu de l'alimentation en courant continu (10), et pour fournir un courant alternatif en sortie, pour faire fonctionner un transducteur piézo-électrique (18) à sa fréquence de résonance propre,

10 un réseau de sortie (200) couplé audit convertisseur (100) pour recevoir le courant alternatif à la sortie du convertisseur, et pour fournir en sortie un courant alternatif d'amplitude appropriée à la commande du transducteur piézo-électrique (18), à sa fréquence de  
15 résonance, et comprenant des moyens pour fournir un premier signal de courant alternatif, proportionnel à l'intensité du courant passant entre le réseau de sortie (200) et le transducteur (18),

un filtre de courant (700) couplé audit réseau (200)  
20 pour recevoir ledit premier signal de courant alternatif et pour fournir un second signal, proportionnel à l'amplitude et à la phase de la fréquence fondamentale du courant s'écoulant entre le convertisseur (100) et le transducteur (18),

un démodulateur (800) couplé de façon à recevoir  
25 ledit second signal et à recevoir également un signal numérique proportionnel à la fréquence fondamentale du courant passant entre le convertisseur (100) et le transducteur (18), mais déphasé de 90 degrés, ce démodulateur (800) fournissant un troisième signal, proportionnel à la  
30 valeur de la partie imaginaire du courant entre le



convertisseur (100) et le transducteur (18),

un filtre de boucle (900) couplé au démodulateur (800) pour recevoir ledit troisième signal, et comprenant des moyens pour produire un quatrième signal ayant une amplitude 5 de courant continu proportionnelle à l'amplitude de la partie imaginaire du courant,

un oscillateur (300) commandé en fonction de la tension apte à fonctionner à une fréquence prédéterminée, couplé pour recevoir le quatrième signal, en tant que signal 10 de commande, pour amener l'oscillateur (300) à modifier sa fréquence proportionnellement à l'amplitude du quatrième signal, cet oscillateur (300) fournissant ledit signal numérique au démodulateur (800) et fournissant d'autres signaux de sortie liés à la fréquence de fonctionnement de 15 l'oscillateur, et

un circuit modulateur et d'attaque (400) couplé pour recevoir les autres signaux de sortie de l'oscillateur (300) et pour fournir des signaux de commande au convertisseur (100) pour amener celui-ci à produire le courant de sortie 20 alternatif à une fréquence amenant le transducteur (18) à fonctionner à sa fréquence de résonance propre.

2.- Alimentation suivant la revendication 1 caractérisée en ce que les moyens destinés à fournir le premier signal de courant alternatif sont constitués d'un 25 transformateur de courant (210) couplé en circuit avec le passage du courant circulant entre le convertisseur (100) et le transducteur (18).

3.- Alimentation suivant la revendication 2 caractérisée en ce que le filtre de courant (700) est un 30 filtre passe-bande comprenant une paire de circuits

résonnants parallèles (704,706) à accord décalé pour atténuer les fréquences situées à l'extérieur d'une bande passante prédéterminée de la fréquence de résonance propre fondamentale du transducteur (18) et pour laisser passer 5 ledit signal de fréquence de résonance fondamentale sensiblement sans décalage de phase.

4.- Alimentation suivant la revendication 2 caractérisée en ce que le filtre de courant (700) comprend une paire de circuits résonnants parallèles (704,706) à 10 accord décalé couplés pour recevoir le premier signal, ces circuits résonnants comportant des pentes de phase opposées et égales pour atténuer les fréquences se situant en dehors d'un domaine de bande passante prédéterminée de la fréquence de résonance fondamentale du transducteur (18), et un circuit 15 de sommation (708) couplé pour additionner les signaux provenant des circuits résonnants parallèles (704,706) à accord décalé pour fournir ledit second signal.

5.- Alimentation suivant la revendication 2 caractérisée en ce que le démodulateur comprend des moyens de 20 commutation analogiques (806,808) couplés pour recevoir ledit second signal et ledit signal numérique et pour fournir, en sortie, le troisième signal.

6.- Alimentation suivant la revendication 5 caractérisée en ce que les moyens pour fournir le quatrième 25 signal dans le filtre de boucle (900) comprennent un circuit intégrateur (904) recevant, en entrée, ledit troisième signal et fournissant, en sortie, ledit quatrième signal.

7.- Alimentation suivant la revendication 1 caractérisée en ce que l'oscillateur (300) commandé en 30 fonction de la tension comprend un circuit horloge (312)

fonctionnant sensiblement à un multiple de la fréquence fondamentale du courant circulant entre le convertisseur (100) et le transducteur (18).

8.- Alimentation suivant la revendication 7  
5 caractérisée en ce que le circuit horloge (312) fonctionne sensiblement à quatre fois la fréquence du courant et comprend des circuits bascules, (330,332,334) couplés au signal de sortie du circuit horloge (312) pour obtenir les autres signaux de sortie ayant des fréquences respectivement  
10 égales à la fréquence de résonance propre et à deux fois la fréquence de résonance propre.

9.- Alimentation suivant la revendication 8  
caractérisée en ce que le circuit modulateur et d'attaque (400) comprend un jeu de portes (414,416) destinées à  
15 recevoir les autres signaux de sortie, et un jeu de bascules bistables (418,420) couplées aux portes (414,416) pour fournir les signaux de commande liés aux signaux de sortie de l'oscillateur (300), lesdits signaux de commande fournis au convertisseur (100) comprenant un jeu de signaux déphasés  
20 entre eux pour commander le convertisseur (100).

10.- Alimentation suivant la revendication 1  
caractérisée en ce qu'elle comprend des moyens couplés au réseau de sortie (200) pour fournir un signal proportionnel à la tension dynamique appliquée au transducteur (18), un  
25 circuit de commande de tension (500) couplé pour recevoir ledit signal proportionnel à la tension dynamique et le comparer à un signal de tension prédéterminé, pour produire un signal de commande d'amplitude de mouvement qui est fourni au circuit modulateur et d'attaque (400), pour amener les  
30 signaux de commande appliqués au convertisseur (100) à être

liés au signal de commande d'amplitude de mouvement, afin d'amener le convertisseur (100) à fournir en sortie un courant alternatif à une tension dont l'amplitude est liée au signal de commande d'amplitude du mouvement.

5            11.- Alimentation suivant la revendication 10 caractérisée en ce que le signal de tension prédéterminé est ajustable.

          12.- Alimentation suivant la revendication 11 caractérisée en ce que le circuit de commande de tension 10 (500) comprend également un générateur de tension "rampe" (512) pour fournir un signal de tension "rampe" répondant au fait que l'alimentation est amenée à démarrer à partir d'une condition de non fonctionnement, un circuit couplé pour amener le signal "rampe" à modifier le signal de tension 15 prédéterminé pour produire le signal de commande d'amplitude de mouvement qui amène la tension de sortie alternative à augmenter suivant une forme de rampe, de façon à amener l'amplitude de vibration du transducteur (18) à augmenter également de la même manière, suivant une rampe.

20            13.- Alimentation suivant la revendication 12 caractérisée en ce que le générateur (512) de tension "rampe" est couplé en série avec un commutateur (516), et le signal de sortie du générateur de tension "rampe", le signal de tension prédéterminé et le signal proportionnel à la tension 25 dynamique sont appliqués à l'entrée d'un amplificateur intégrateur (508) qui fournit, en sortie, le signal de commande d'amplitude de mouvement.

          14.- Alimentation pour transducteur piézo-électrique comprenant :

30            une alimentation en courant continu (10),

un convertisseur (100) résonnant en mode fixé, couplé pour recevoir un courant continu de l'alimentation (10) et pour fournir un courant alternatif en sortie pour faire fonctionner un transducteur piézo-électrique (18) à sa 5 fréquence de résonance propre,

un réseau de sortie (200) couplé audit convertisseur (100) pour recevoir le courant alternatif à la sortie du convertisseur (100), et pour fournir ce courant alternatif au transducteur (18) pour commander le fonctionnement de ce 10 transducteur à sa fréquence de résonance propre, ce réseau (200) comprenant des moyens pour fournir un premier signal proportionnel à l'intensité du courant circulant entre le réseau de sortie (200) et le transducteur (18), et un second signal proportionnel à la tension dynamique appliquée au 15 transducteur (18),

un filtre de courant (700) couplé pour recevoir le premier signal et pour fournir un troisième signal proportionnel à l'amplitude et à la phase de la fréquence fondamentale du courant s'écoulant entre le convertisseur 20 (100) et le transducteur (18),

un démodulateur (800) couplé de façon à recevoir le troisième signal et à recevoir également un signal numérique proportionnel à la fréquence fondamentale, mais déphasé de 90 degrés, et un signal numérique en phase proportionnel à la 25 fréquence fondamentale, ce démodulateur (800) fournissant un quatrième signal proportionnel à la valeur de la partie imaginaire du courant de fréquence fondamentale circulant entre le convertisseur (100) et le transducteur (18) et fournissant un cinquième signal proportionnel à la valeur de 30 la partie réelle dudit courant,

un filtre de boucle (900) couplé pour recevoir ledit quatrième signal et comprenant des moyens pour produire un sixième signal de courant continu et d'amplitude proportionnelle à l'amplitude de la partie imaginaire du 5 courant,

un oscillateur (300) commandé en fonction de la tension apte à fonctionner à une fréquence prédéterminée, couplé pour recevoir le sixième signal en tant que signal de réaction de fréquence pour amener l'oscillateur (300) à 10 modifier sa fréquence proportionnellement à l'amplitude du sixième signal, cet oscillateur (300) fournissant lesdits signaux numériques au démodulateur (800), et fournissant d'autres signaux de sortie liés à la fréquence de fonctionnement de l'oscillateur (300), et

15 un circuit de commande de tension (500) couplé pour recevoir le second signal et comprenant des moyens pour combiner le second signal avec une tension de référence ajustable et fournissant en réponse un signal de commande d'amplitude de mouvement,

20 un circuit de commande de courant (600) couplé pour recevoir les quatrième et cinquième signaux provenant du circuit démodulateur (800) et comprenant des moyens pour fournir un signal de référence lié à l'intensité du courant direct maximale autorisée fourni au transducteur, et un 25 signal de référence lié à l'intensité du courant inverse maximale autorisée provenant du transducteur, ce circuit (600) fournissant un signal de sortie lié à la condition d'un courant plus grand que le courant direct maximal autorisé et d'un courant plus grand que le courant inverse maximal 30 autorisé,

un combineur (20) pour recevoir le signal (502) de commande d'amplitude du mouvement provenant du circuit de commande de tension (500) et le signal de sortie provenant du circuit de commande de courant (600) et fournissant un 5 signal (22) de commande d'amplitude de mouvement combiné et,

un circuit modulateur et d'attaque (400) couplé pour recevoir les autres signaux de sortie de l'oscillateur commandé en fonction de la tension (300), et le signal (22) de commande d'amplitude de mouvement combiné provenant dudit 10 combineur (20), ce circuit (400) produisant, en réponse à ces signaux, des signaux de commande vers le convertisseur (100) pour amener celui-ci à produire en sortie un courant alternatif à une fréquence liée aux autres signaux de sortie et ayant une amplitude de tension liée au signal de commande 15 d'amplitude de mouvement combiné.

15.- Alimentation suivant la revendication 14 caractérisée en ce que le circuit de commande de tension (500) comprend un générateur de tension "rampe" (512) pour fournir un signal de tension "rampe" pour modifier rapidement 20 la tension de référence ajustable lorsque l'état de l'alimentation est changé à partir de son état de non fonctionnement à son état de fonctionnement.

16.- Alimentation suivant la revendication 15 caractérisée en ce que le générateur de tension "rampe" (512) 25 est couplé en circuit avec un commutateur et il est apte à fournir la tension "rampe" en réponse à un signal provenant du commutateur.

17.- Alimentation suivant la revendication 14 caractérisée en ce que les signaux de commande appliqués au 30 convertisseur (100) et fournis par le circuit modulateur et

d'attaque (400) sont constitués d'un jeu de signaux de sortie déphasés les uns par rapport aux autres pour commander le convertisseur (100).

18.- Alimentation suivant la revendication 14  
5 caractérisée en ce que les moyens du circuit de commande de courant (600) destinés à fournir des signaux de référence de courant maximal autorisé comprennent des potentiomètres respectifs (608,610).

19.- Alimentation suivant la revendication 18  
10 caractérisée en ce que les moyens du circuit de commande de courant (600) comprennent de plus une paire de circuits amplificateurs intégrateurs, (605,606) des premières bornes d'entrée respectives des circuits amplificateurs (605,606) étant couplées ensemble et recevant ledit cinquième signal,  
15 l'un des circuits amplificateurs (605) recevant également ledit quatrième signal et le signal de référence lié au courant direct maximal autorisé, l'autre circuit amplificateur (606) recevant ledit signal de référence lié au courant inverse maximal autorisé, ce qui amène les circuits  
20 amplificateurs (605,606) à fournir le signal proportionnel soit à un courant plus grand que le courant direct maximal autorisé soit à un courant plus grand que le courant inverse maximal autorisé.

20.- Alimentation suivant la revendication 19  
25 caractérisée en ce que le circuit modulateur et d'attaque (400) est disposé de manière à produire un signal proportionnel à un courant plus grand que le courant direct maximal autorisé de façon à réduire la tension de sortie alternative fournie par le convertisseur (100), et à produire  
30 un signal proportionnel à un courant plus grand que le



courant inverse maximal autorisé de façon à augmenter la tension de sortie alternative fournie par le convertisseur (100) .

21.- Alimentation destinée à commander un  
5 transducteur piézo-électrique comprenant :

une alimentation en courant continu (10),

un convertisseur résonnant en mode fixé (100) couplé  
pour recevoir un courant continu de ladite alimentation (10)  
et fournissant en sortie un courant alternatif destiné à  
10 faire fonctionner un transducteur piézo-électrique (18) à sa  
fréquence de résonance propre,

un réseau de sortie (200), couplé à la sortie du  
convertisseur (100) pour recevoir le courant alternatif de  
sortie de celui-ci et pour appliquer ce courant de sortie au  
15 transducteur (18),

un circuit modulateur et d'attaque (400) couplé au  
convertisseur (100) pour fournir des signaux de commande au  
convertisseur (100), pour amener la fréquence et la tension  
du courant alternatif de sortie du convertisseur (100) à être  
20 liées aux signaux de commande,

un circuit à boucle à verrouillage de phase couplé  
entre le réseau de sortie (200) et le circuit modulateur et  
d'attaque (400), ce circuit à boucle étant destiné à recevoir  
du réseau (200) un signal lié à l'intensité du courant  
25 circulant entre le réseau de sortie (200) et le transducteur  
(18) et fournissant au circuit modulateur et d'attaque (400),  
en réponse à ce signal, des signaux pour amener lesdits  
signaux de commande fournis au convertisseur (100) à  
commander le fonctionnement de celui-ci et à produire le  
30 courant alternatif en sortie à une fréquence coïncidant

pratiquement avec la fréquence de résonance propre du transducteur (18),

un circuit de commande de tension (500) couplé audit réseau de sortie (200) pour recevoir un signal de tension lié à la tension dynamique appliquée au transducteur (18) et comprenant des moyens pour comparer ce signal de tension avec un signal de référence et fournir en réponse un signal de commande de tension,

un circuit de commande de courant (600) couplé audit réseau de sortie (200) afin de recevoir un signal lié à l'amplitude du courant circulant entre le réseau (200) et le transducteur (18) et comprenant des moyens pour comparer le signal lié à l'amplitude du courant avec des signaux de référence proportionnels au courant maximal permis entre le convertisseur (100) et le transducteur (18) et produisant, en réponse, un signal de commande de courant indiquant que le signal lié à l'amplitude du courant dépasse le courant maximal permis et,

un circuit combineur (20) couplé pour recevoir ledit signal de commande de courant et ledit signal de commande de tension et pour fournir, en réponse à ces signaux, un signal de commande de tension combiné au circuit modulateur et d'attaque (400), pour amener les signaux de commande fournis au convertisseur (100) à faire en sorte que l'amplitude de la tension alternative en sortie du convertisseur (100) soit liée au signal de commande de tension combiné.

22.- Alimentation suivant la revendication 21 caractérisée en ce que les signaux de référence du signal de commande de courant sont proportionnels respectivement au

courant maximal autorisé allant du convertisseur (100) vers le transducteur (18) et au courant maximal autorisé allant du transducteur (18) vers le convertisseur (100).

23.- Alimentation suivant la revendication 22  
5 caractérisée en ce que le signal de commande de tension combiné fourni au circuit modulateur et d'attaque (400) amène l'amplitude de la tension alternative en sortie du convertisseur (100) à diminuer lorsque le signal de commande de courant est lié à un courant allant du convertisseur (100)  
10 vers le transducteur (18) supérieur au courant maximal autorisé, et il amène l'amplitude de la tension alternative en sortie du convertisseur (100) à diminuer lorsque le signal de commande de courant est lié à un courant allant du transducteur (18) vers le convertisseur (100) supérieur au  
15 courant maximal autorisé.

24.- Alimentation suivant la revendication 21  
caractérisée en ce que le circuit de commande de tension (500) comprend un circuit générateur d'une tension "rampe" (512) pour amener ce signal de commande de tension, en  
20 réponse à un signal de commutation, à croître suivant une rampe de manière à amener l'amplitude de la tension alternative à la sortie du convertisseur (100) à croître également suivant une rampe.

25.- Alimentation suivant la revendication 21  
25 caractérisée en ce que le convertisseur (100) produit un courant alternatif de sortie destiné à amener le transducteur (18) à fonctionner à une fréquence de résonance propre prédéterminée, dans un domaine compris entre 18kHz et 60 kHz.

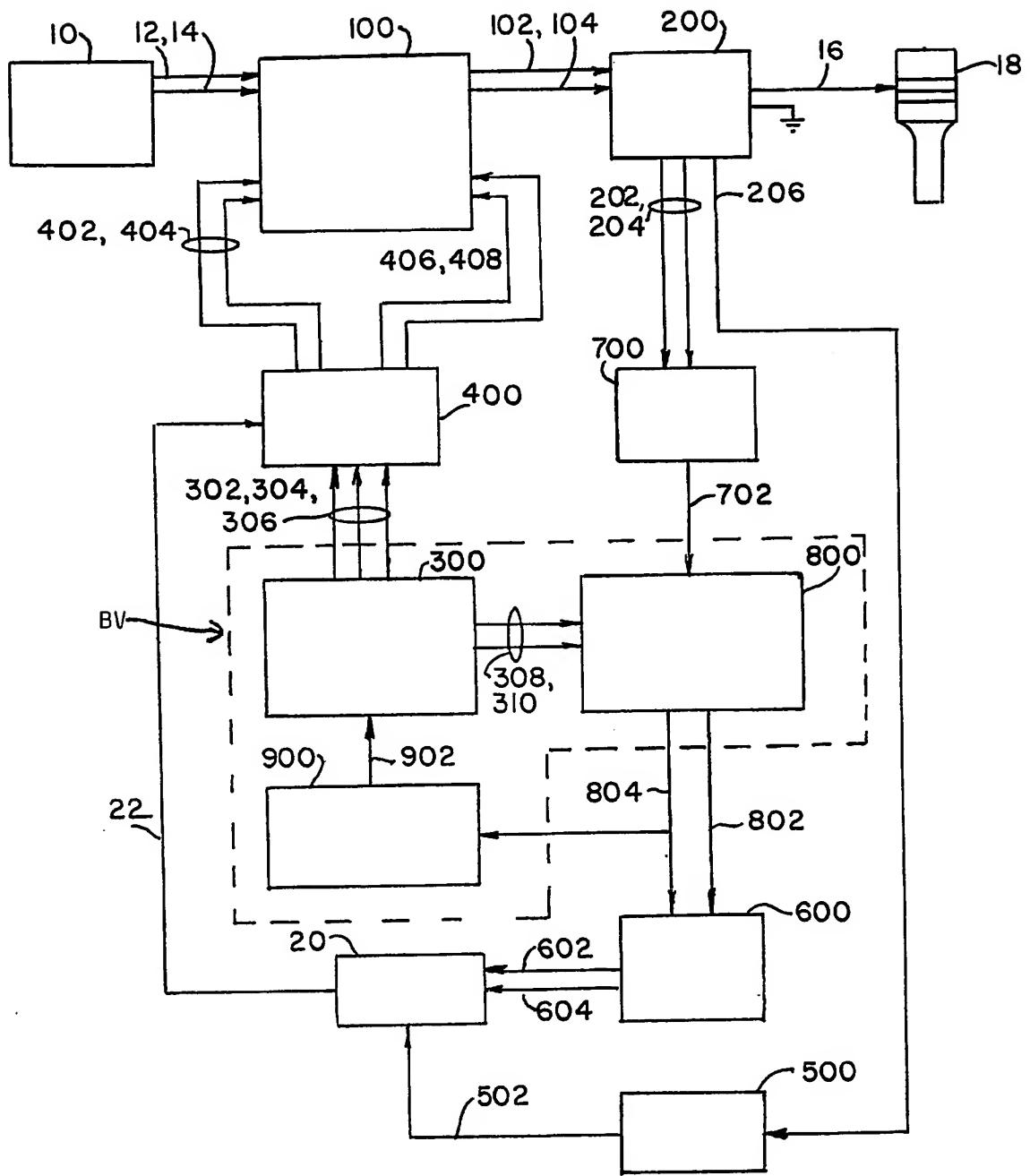


FIG. 1.

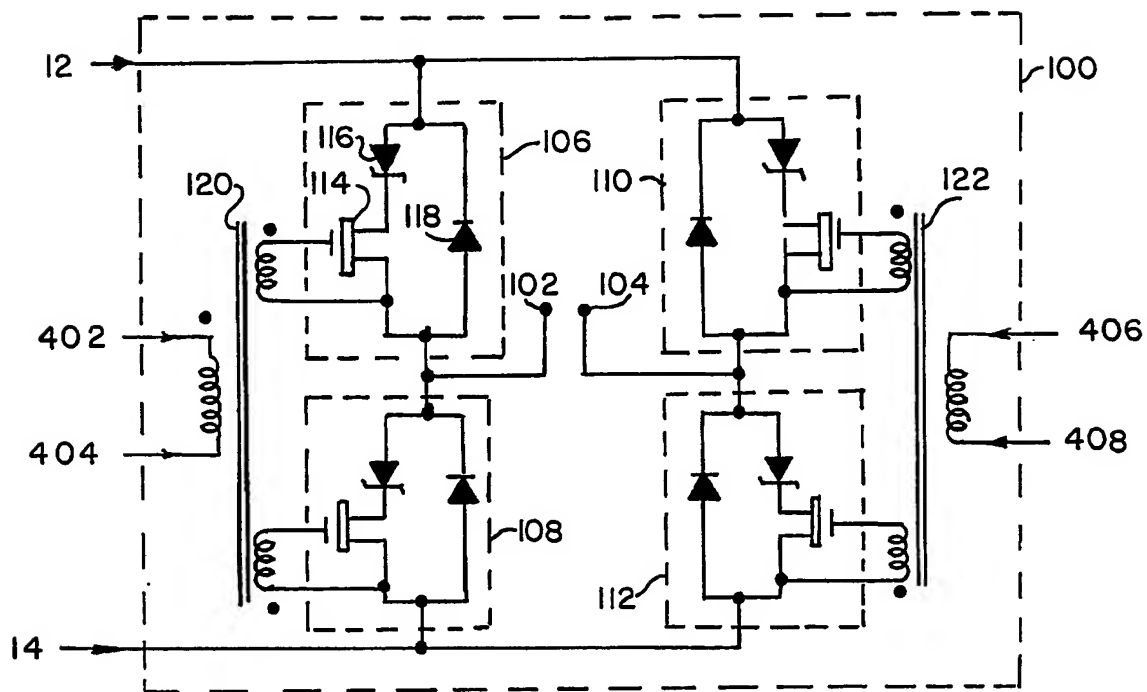


FIG. 2.

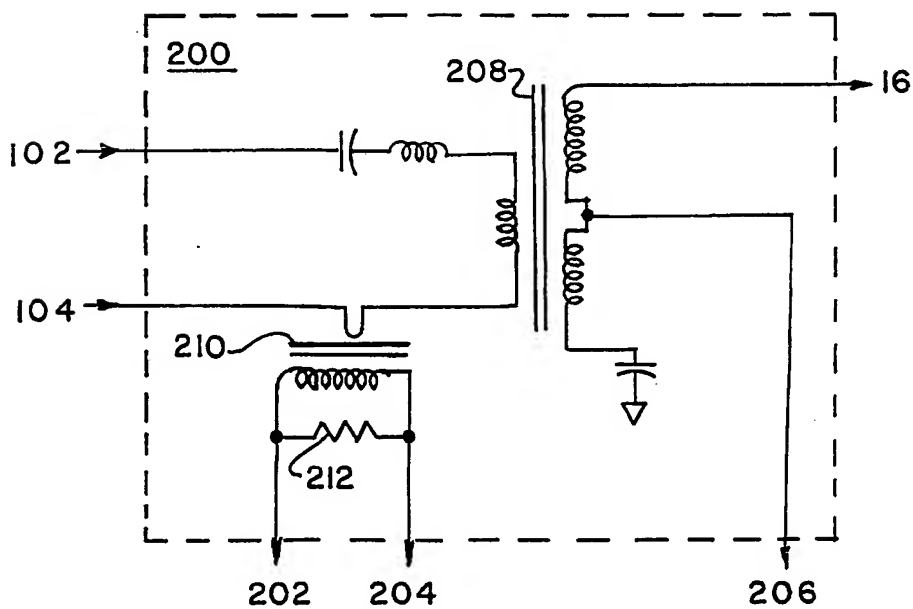


FIG. 3.

planche III/V

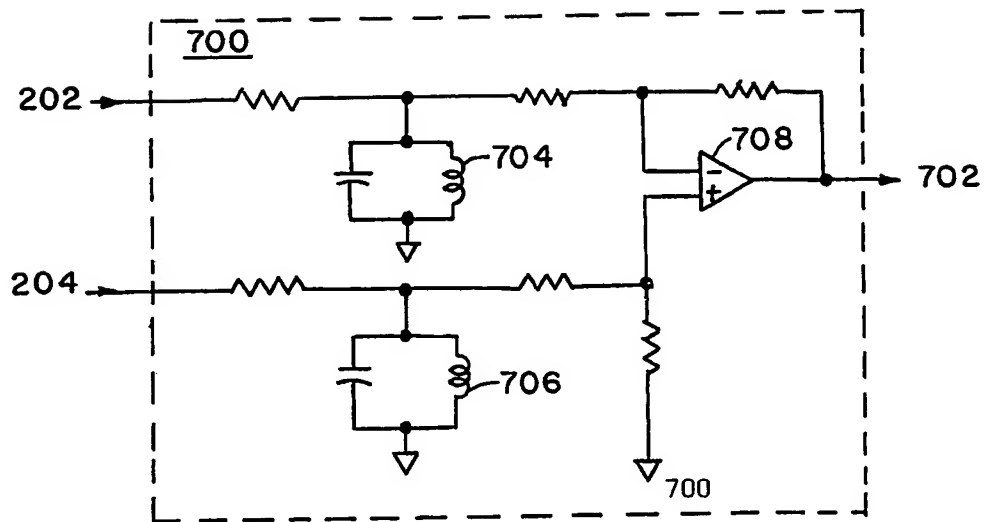


FIG. 4.

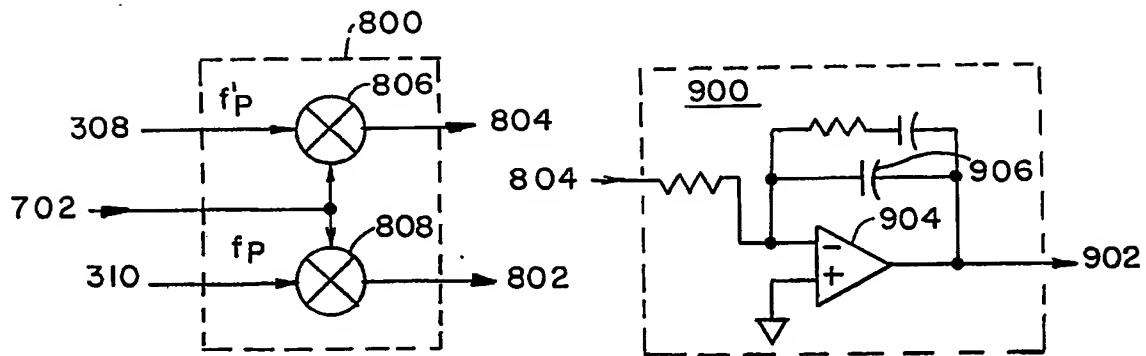


FIG. 5.

FIG. 6.

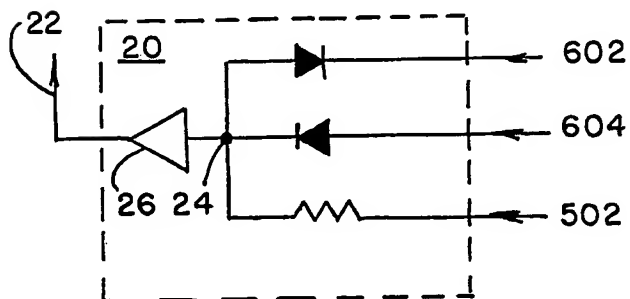


FIG. 10.

planche IV/V

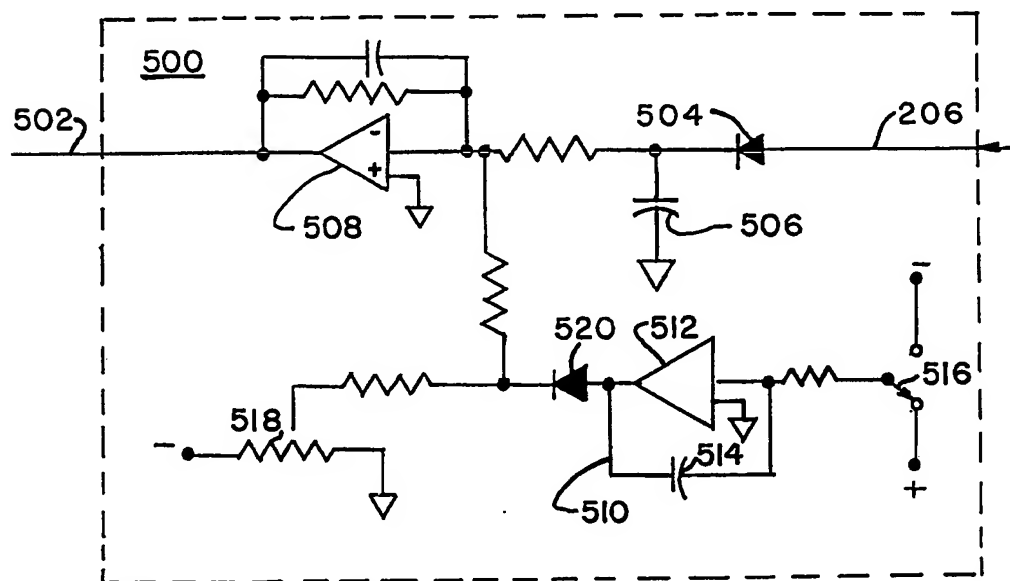
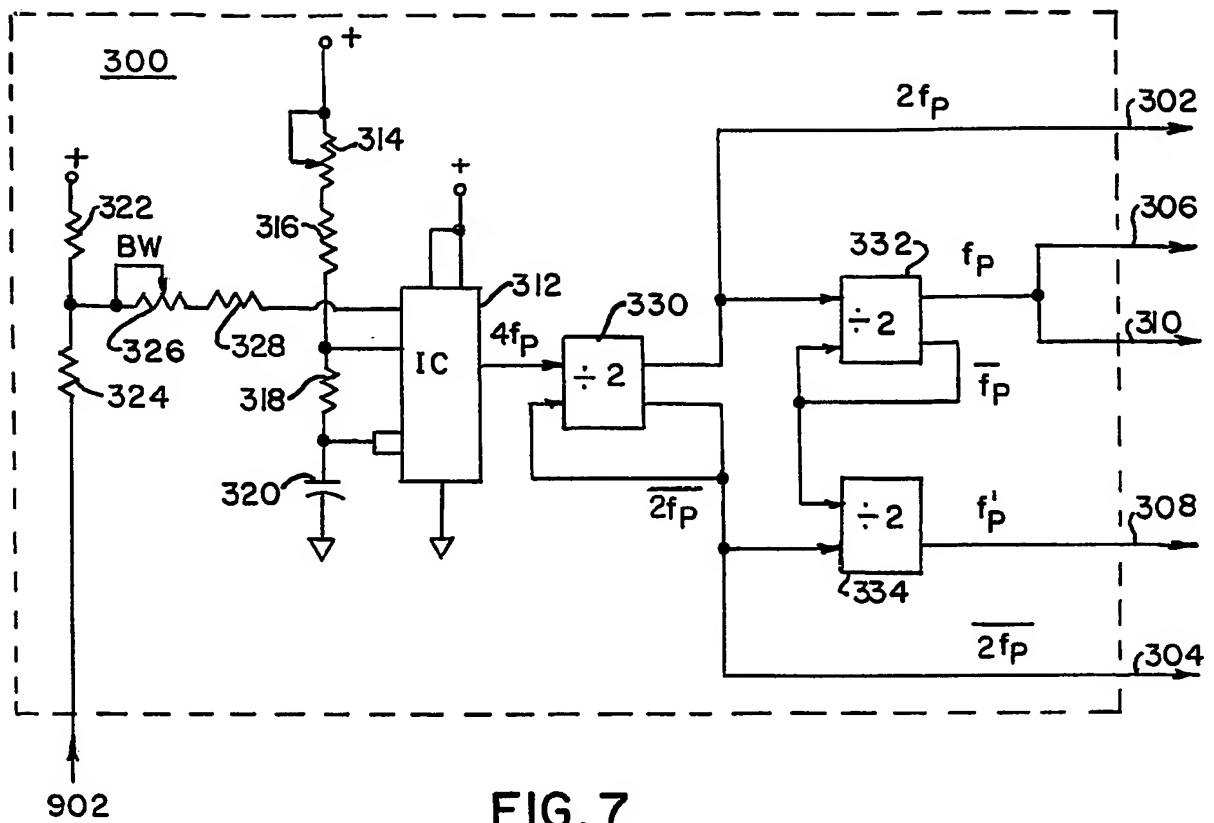


planche V/V

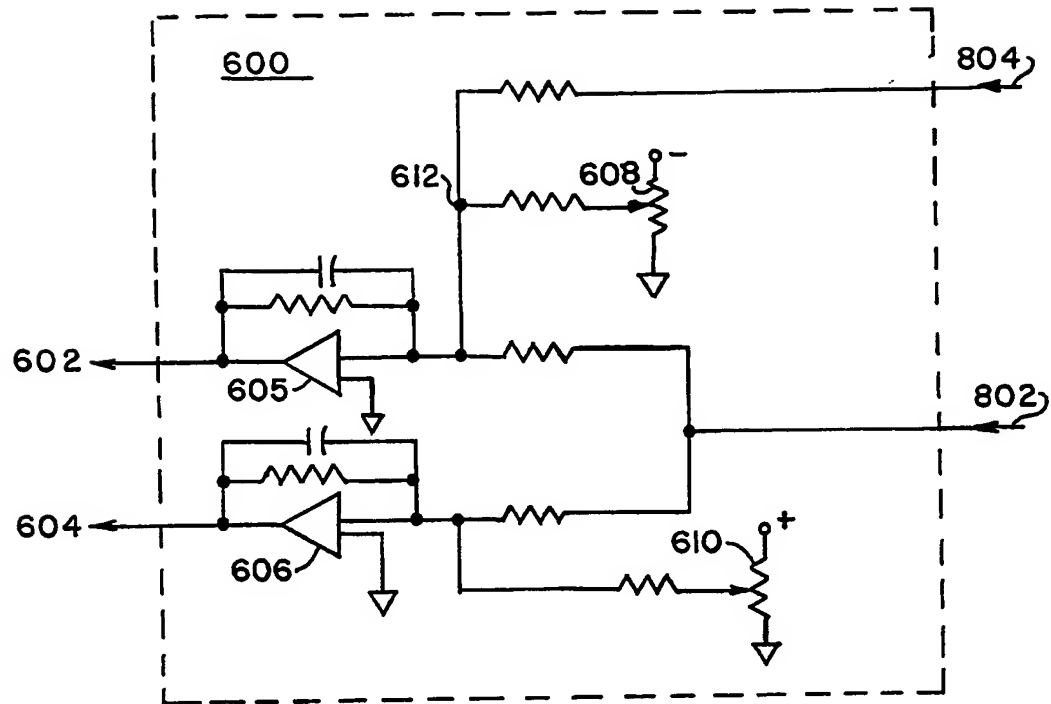


FIG. 9.

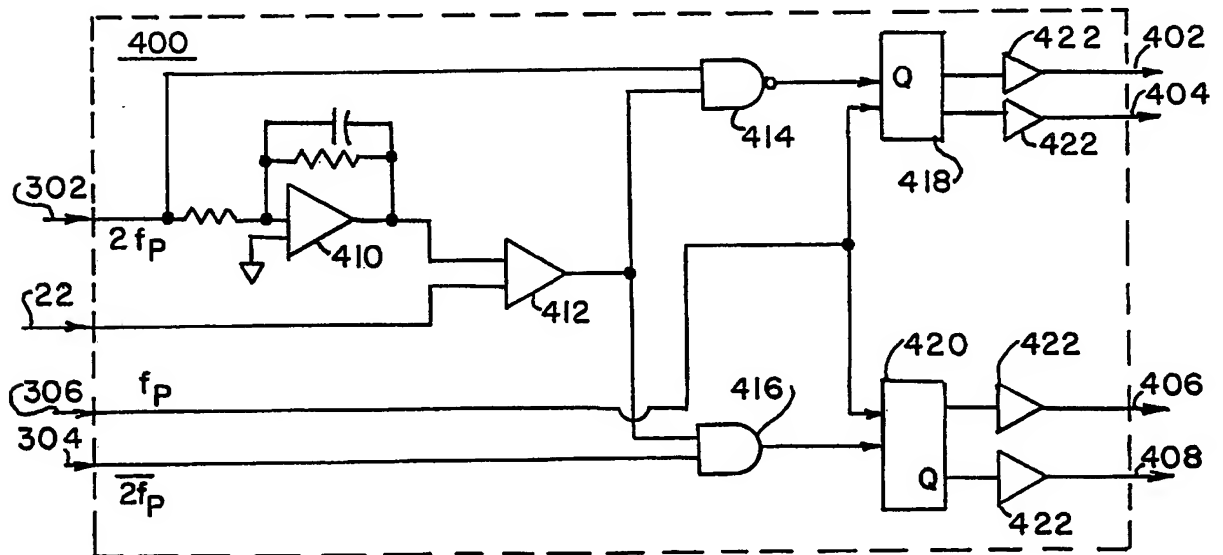


FIG. 11.